

## **ФОРМУВАННЯ ЗОНИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИЙОМО-ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗМІННОГО ВХІДНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

© Скулиш М. А., 2020

M. Skulysh,

National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute"

## **FORMATION SERVICE AREA OF THE TRANSCIVER STATION DEPENDING ON THE VARYING INPUT LOAD**

© M. Skulysh, 2020

The method of managing energy saving in maintaining a subscriber load by a group of service nodes of access to the network, to provide a service process at a given level of quality in the conditions of multi-channel service is proposed in this paper. It takes into account the topology of the location of access nodes, and allows redistributing the load between the access stations to the heterogeneous telecommunication environment, from taking into account end-user service quality and total energy system maintenance costs.

**Keywords** - LTE network, load distribution, LTE base station, network energy efficiency, resource optimization.

У статті запропоновано метод керування енергозбереженням при обслуговуванні абонентського навантаження групою обслуговуючих вузлів доступу до мережі, для забезпечення процесу обслуговування на заданому рівні якості в умовах багатоканального обслуговування, який враховує топологію розташування вузлів доступу, та дозволяє перерозподіляти навантаження між станціями доступу до гетерогенного телекомунікаційного середовища, з урахуванням показників якості обслуговування кінцевого користувача та сумарних енергетичних витрат на обслуговування системи.

**Ключові слова** – мережа LTE, розподіл навантаження, базова станція LTE, енергоефективність мережі, оптимізація ресурсів.

### **Вступ**

За останні декілька років спостерігається значне збільшення кількості трафіку, який передається через мережі мобільного зв'язку. При цьому найбільший потік припадає на передачу даних в режимі реального часу (голосова телефонія, передача відео з високою розподільною здатністю і т.д.). Щоб задовольнити потреби сучасних користувачів, мобільні оператори повинні надавати доступ до високопродуктивних онлайн медіа сервісів, таких як цифрова і відео телефонія або цифрове телебачення. Все це призводить до значного збільшення навантаження на мережу, що потребує розробки ефективних стратегій керування ресурсами, які будуть одночасно враховувати вимоги до якості обслуговування абонентів та оптимізувати енергетичні витрати системи. [1]

Сучасні методи оптимізації використання мережевих ресурсів базуються на побудові короткострокових прогнозів та аналізі статистичних даних, на основі яких відбувається розподіл ресурсів сервера. При цьому не враховується можливість зменшення потужності базових станцій після встановлення з'єднання. В даній статті запропонований метод керування енергозабезпеченням прийомо-передавальної станції, в залежності від зміни вхідного навантаження на мережу. Даний метод враховує вимоги по показників якості обслуговування абонентів та топологію розташування вузлів мережі. Він дозволяє зменшити потужність базової станції таким

чином, щоб параметри якості залишились на заданому рівні. Таким чином можна підвищити ефективність споживання енергоресурсів і зменшити витрати на обслуговування системи.

### **Основні недоліки сучасних мереж доступу**

Активне зростання мобільного трафіку, яке спостерігається на сьогоднішній день, характеризується наступними особливостями:

- різноманіттю та масштабністю (від голосової телефонії через соціальні мережі до мультимедійного відео з високою розподільною здатністю);
- унікальністю та персоналізацією (контекст, місцезнаходження, час, пристрій, ОС, контент користувача);
- постійною активністю (постійний попит та динамічне навантаження);
- чутливістю до зміни якості обслуговування (невисокі параметри QoS погано впливають на розвиток бізнесу та викликають невдоволення користувачів);
- шифруванням (спостерігається тенденція до збільшення кількості зашифрованого контенту). [2]

Всі ці особливості зумовлюють зростання вимог до параметрів якості обслуговування мережі. Зокрема, різноманітність прикладних програм та збільшення кількості трафіку, що передається в реальному часі, призводить до підвищення вимог до ресурсозабезпечення мережі. Користувачі очікують від провайдера можливості доступу до Інтернету в будь-якому місті з бесшовними параметрами QoE.

Необхідність забезпечити максимальну доступність телекомунікаційного сервісу до тепер вирішувалася за рахунок налаштування параметрів роботи базових станцій на максимальну конфігурацію, що в умовах необхідності зменшувати енергоспоживання, не є ефективним. Існуючі методи контролю енергоефективності пропонують використання динамічних моделей керування абонентськими пристроями для забезпечення вибору точки доступу до мережу яка забезпечить енергоефективність системи в цілому, або ж методи оптимізації обробки інформації на багатоядерному процесорі базової станції. Однак комплексних моделей які б базувалися на аналізі навантаження на заданій території обслуговування, враховували вимоги до таких показників якості передачі, як затримка інформаційних пакетів, відсоток втрат, при цьому забезпечували контроль потужності випромінювання сайта (базової станції).

Основними недоліками стандартних радіосистем LTE є:

- буферизація пакетів на основі носіїв та розподіл ресурсів на основі агностики прикладних програм та агностик ресурсного попиту;
- розподіл ресурсів базується на статичних параметрах QoS, а не на динамічних вимогах QoE:  $QCI \rightarrow \{GBR1, wQCI2, MBR, AMBR \text{ та ін.}\}$ ;
- відсутність деталізації обробки трафіку на рівні сесії;
- відсутність стандартизованої диференціації між носіями. [3]

Одним з перспективних напрямків удосконалення мереж LTE є створення ефективних механізмів керування ресурсами базових станцій. Тому на сьогоднішній день постає завдання знаходження способу оптимального використання та керування обмеженим спектральним ресурсом. Гнучкість керування ресурсами мережі може бути досягнута за рахунок заміни компонентів апаратного забезпечення гнучкими і багаторазовими програмно-визначеними функціями. Таким чином, за допомогою технології хмарних обчислень можна досягти можливості ефективного керування ресурсами БС, а також можливості групового керування ресурсами. Це дозволить оптимізувати використання обчислювальних ресурсів БС та збільшити ефективність обробки потоку. [4]

Недоліком сучасних мереж LTE є відсутність ефективних механізмів розподілу ресурсів на основі попиту користувачів. Необхідність створення розкладу роботи базових станцій обумовлена відомостями про періодичний характер навантаження, а також можливість програмо регулювати потужність випромінювання базової станції. Загальна архітектура мережі LTE зображена на рис.1.

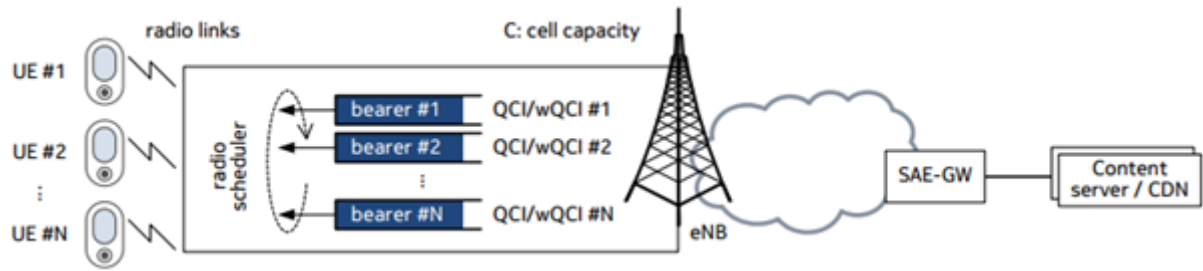


Рис. 1 Архітектура мережі LTE

### Метод керування енергозбереженням при обслуговуванні абонентського навантаження групою обслуговуючих пристроїв.

Метод керування енергозбереженням мережі, запропонований в даній статті, враховує динаміку зміни навантаження на обслуговуючі вузли мережі.

Постановка задачі: Рухомі абонентські термінали зв'язуються з вузлами доступу. Створюючи навантаження на обслуговуючий вузол. Середнє значення навантаження лінійно зменшується. Необхідно розрахувати, на скільки може бути зменшена потужність базової станції, в результаті чого зменшиться зона покриття. Абоненти, які втратили достатній рівень сигналу з базовою станцією, почнуть обслуговуватися сусідніми базовими станціями, припустимо заявки відключених абонентів рівномірно розділяться між базовими станціями-сусідами. Розрахувати на скільки може бути зменшена потужність базової станції, щоб показники якості обслуговування залишилися на заданому рівні, а кількість спожитих енергоресурсів була мінімальною.

#### Вхідні дані

$G$  – граф вузлів обслуговування,

$|g|_{i,j=\overline{1,n}}$  – матриця зв'язності графа  $G$ ,  $n$  – кількість вузлів графа,  $g_{ij}=1$ , якщо вузол  $j$  є вузлом-сусідом до вузла  $i$ ,  $g_{ij}=0$  – інакше.

$\mu_i$  – інтенсивність обслуговування заявки у вузлі  $i$  ( $i = \overline{1,n}$ ), в рамках даного методу не змінюється.

$\lambda_i$  – інтенсивність вхідного потоку заявок у вузол  $i$  до перерозподілу ( $i = \overline{1,n}$ ),

$f_i(r_i, \rho_i)$  – значення функції енергоспоживання вузла  $i$  ( $i = \overline{1,n}$ ), при завантаженості вузла  $\rho_i = \lambda_i / \mu_i$ , та радіусі дії  $r_i$ , функція задана технічними характеристиками вузла обслуговування або отримана експериментально.

$\lambda_{i \max}$  – інтенсивність вхідного потоку заявок, яка є оптимальною для вузла  $i$  ( $i = \overline{1,n}$ ), яка розрахована за методом формування вхідного потоку навантаження для ефективного використання ресурсів обслуговування, описаного вище.

$\{0, r_i^1, r_i^2, \dots, r_i\}$  – неспадуюча послідовність можливих значень радіусу дії вузла  $i$  ( $i = \overline{1,n}$ ). Зміна навантаження на вузол обслуговування відбувається за рахунок зміни потужності випромінювання базової станції (БС), що призводить до зменшення радіусу дії БС  $r_i$ , відповідно до зменшення кількості абонентів, які зв'язуються з БС та створюють навантаження. Припускається, що абоненти рівномірно розташовані, на території, що покривається БС.

#### Вихідні дані

$r_i^*$  – розрахований радіус дії БС  $i$  ( $i = \overline{1,n}$ ), що забезпечить мінімізацію сумарного енергоспоживання мережі обслуговуючих вузлів ( $W_{\min}$ ).

#### Запропонований метод

Цільова функція запропонованого методу:

$$\sum_{i=1}^n f_i(r_i, \lambda_i^*) \rightarrow \min$$

За умов:

$$\lambda_i^* \leq \lambda_{i \max} \quad (1)$$

При зменшенні інтенсивності вхідного потоку у вузлі  $i$  на  $(\lambda_i - \lambda_i^*)$  інтенсивність вузлів-сусідів збільшується на  $\lambda_{ij} = (\lambda_i - \lambda_i^*) / \sum_{j=1}^n g_{ij}$ .

$$r_i^* \in \{0, r_i^1, r_i^2, \dots, r_i\}$$

Для розв'язку даної задачі я пропоную застосовувати метод динамічного програмування. Відповідно до якого, на кожному етапі послідовно розраховується енергоспоживання вузла, якщо радіус дії вузла змінюється у значеннях множини  $R_i = \{0, r_i^1, r_i^2, \dots, r_i^K\}$ ,  $r_i^K = r_i$ .

Введемо позначення  $\vec{\lambda}^{xk}$  – вектор значень інтенсивності вхідного навантаження на вузли мережі обслуговування розраховані на етапі  $x$ , що відповідає радіусу дії вузла обслуговування  $x - r_x^k$ . Координата вектора  $\vec{\lambda}^{xk} - \lambda_i^{xk}$  – це інтенсивність надходження заявок у вузол  $i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), яка розрахована на етапі  $x$  та відповідає радіусу дії вузла обслуговування  $x - r_x^k$ , ( $k = \overline{1, K}$ ). Дана величина збільшується при перерозподілі абонентів у вузлах  $j$   $\{j | g_{ij}=1\}$ , та зменшується при перерозподілі абонентів у вузлі  $i$ .

Відповідно до припущення про рівномірність розташування абонентів у зоні покриття вузла зменшення радіусу дії з  $r_i$  до  $r_i^k$ , зменшить  $\lambda_i^x$ , нове значення  $\lambda_i^x = \frac{r_i^k \lambda_i^x}{r_i}$ , перерозподілене навантаження складе величину  $\lambda_{ij} = \left( \lambda_i^x - \frac{r_i^k \lambda_i^x}{r_i} \right) / \sum_{j=1}^n g_{ij}$ .

Введемо позначення:

$W_n(r_n^k, \vec{\lambda}^{nk})$  – енергоспоживання вузла  $n$ , якщо радіус його дії  $r_n^k$ , а інтенсивність вхідного навантаження  $\lambda_n^x$ ;

$W_z(r_z^k, \vec{\lambda}^{zk})$  – сумарне енергоспоживання вузлів  $z, z+1, \dots, n$ , якщо радіус дії вузла  $z - r_z^k$ , а інтенсивність вхідного навантаження –  $\lambda_z^x$ ;

$W_1(r_1^k, \vec{\lambda}^{1k})$  – сумарне енергоспоживання всіх системи обслуговування, радіус дії вузла  $1 - r_1^k$ , а інтенсивність вхідного навантаження –  $\lambda_z^x$ .

Алгоритм пошуку оптимального значення:

Крок 1. Для вузла  $n$ , для кожного  $r_n^k \in R_n$ , ( $k = \overline{1, K}$ ), розрахувати вектор  $\vec{\lambda}^{nk}$  таким чином, що

$$\vec{\lambda}^{nk} = \begin{cases} \lambda_n^{nk} = \frac{r_n^k \lambda_n}{r_i} \\ \lambda_i^{nk} = \frac{\left( \lambda_n - \frac{r_i^k \lambda_n}{r_i} \right)}{\sum_{j=1}^n g_{nj}}, & \text{для всіх } \{i | g_{in} = 1\} \\ \lambda_i^{nk} = \lambda_i, & \text{для всіх } \{i | g_{in} = 0\} \end{cases}$$

Якщо існує таке  $i$  для якого не виконується нерівність  $\lambda_i^{nk} \leq \lambda_{i \max}$ , тоді відповідний радіус  $r_n^k$  виключається з множини  $R_n$ . Таким чином,  $R_n = \{r_n^k | \lambda_i^{nk} \leq \lambda_{i \max}\}$

Для всіх  $r_n^k \in R_n$  вузла  $n$  розрахувати,  $W_n(r_n^k, \vec{\lambda}^{nk})$ .

Крок  $z$ . Для вузла  $z$ , для кожного  $r_z^k \in R_z$  розрахувати вектор  $\vec{\lambda}^{zk}$ , ( $k = \overline{1, K}$ ), таким чином, що

$$\vec{\lambda}^{zk} = \begin{cases} \lambda_z^{zk} = \frac{r_z^k \lambda_z^{(z+1)k}}{r_z} \\ \lambda_i^{zk} = \frac{\left( \lambda_z^{(z+1)k} - \frac{r_i^k \lambda_z^{(z+1)k}}{r_i} \right)}{\sum_{j=1}^n g_{nj}}, & \text{для всіх } \{i | g_{iz} = 1\} \\ \lambda_i^{zk} = \lambda_i^{(z+1)k}, & \text{для всіх } \{i | g_{iz} = 0\} \end{cases} \quad (2)$$

Перевіряється виконання умови (1), та формується множина  $R_z = \{r_z^k | \lambda_i^{zk} \leq \lambda_{i \max}\}$

Для всіх  $r_z^k \in R_z$  вузла  $z$  розрахувати

$$W_z(r_z^k, \overrightarrow{\lambda^{zk}}) = \min_{r_{z+1}^k \in R_{z+1}} \left( f(r_z^k, \lambda_z^{zk}) + W_{z+1}(r_{z+1}^k, \overrightarrow{\lambda^{(z+1)k}}) \right) \quad (3)$$

Крок  $n$ . Для вузла 1, для кожного  $r_1^k \in R_z$  розрахувати вектор  $\overrightarrow{\lambda^{1k}}$ , ( $k = \overline{1, K}$ ), за формулами (2) при  $z=1$ , знайти множину  $R_1 = \{r_1^k | \lambda_i^{1k} \leq \lambda_{i \max}\}$

Для всіх  $r_1^k \in R_1$  за формулою (3) розрахувати,  $W_1(r_1^k, \overrightarrow{\lambda^{1k}})$ .

Мінімальне значення енергоспоживання системи обслуговуючих вузлів знаходиться за формулою:

$$W_{\min} = \min_{r_1^k \in R_1} \left( W_1(r_1^k, \overrightarrow{\lambda^{1k}}) \right)$$

Значення оптимального радіусу  $r_i^*$ , для  $i$ -го вузла обслуговування знаходиться за наступною схемою:  $r_1^* = \operatorname{argmin} W_{\min}$ ,  $r_2^* = \operatorname{argmin} W_1(r_1^*, \overrightarrow{\lambda^{1k}})$ , ...,  $r_n^* = \operatorname{argmin} W_{n-1}(r_{n-1}^*, \overrightarrow{\lambda^{(n-1)k}})$ .

Застосування запропонованого методу дозволить оптимізувати використання ресурсів мережі доступу при зменшенні інтенсивності надходження абонентського трафіку. Розрахунок оптимального розподілу радіусу дії базових необхідно виконувати ковзковим способом виконуючи розрахунок для послідовно для різних множин  $n$  базових станцій, які перетинаються. Оптимальне значення  $n$ , а також використання

### Висновок

У статті запропоновано метод керування енергозбереженням мережі оператора мобільного зв'язку при обслуговуванні абонентського навантаження групою обслуговуючих вузлів. Оптимізація використання ресурсів здійснюється за рахунок зменшення потужності базової станції на основі аналізу динаміки навантаження на систему. При цьому параметри якості обслуговування залишаються на заданому рівні. Даний метод дозволяє підвищити енергоефективність мережі та зменшити витрати на її обслуговування.

### Список використаних джерел

1. Radics N. Insight Based Dynamic QoE Management in LTE / N. Radics, P. Szilágyi P., Cs. Vulkán // IEEE 26th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'15). – 2015. – Hong Kong, China.
2. Skulysh M. The method of resources involvement scheduling based on the long-term statistics ensuring quality and performance parameters / M. Skulysh // The Second International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics UkrMiCo'2017. – 2017.
3. Szilágyi P. Latency Control at Network and Transport Layer / P. Szilágyi // International Summer School on Latency Control for Internet of Services 27<sup>th</sup>. – 2017, Karlstad, Sweden.
4. Тимченко І. О. Модель міграції базових станцій між технологіями радіо доступу при використанні SDR та хмарного контролеру базових станцій / І. О. Тимченко, М. А. Скулиш // Збірник матеріалів XI Міжнародної Науково-технічної Конференції "ПТ-2017". – 2017.